

# 우드세라믹 제조용 석탄산수지 함침보드의 수지 함침율과 치수 증가율\*1 - 증기분사 시간의 영향 -

오 승 원\*2

## Resin Content and Dimensional Rise in Board Impregnated with Phenol Resin for Making Woodceramics\*1 - Effect of Steam Injection Time -

Seung-Won Oh\*2

### 요 약

우드세라믹의 성질에 영향을 미치는 보드의 수지 함침율과 밀도경사의 특성을 알아보기 위하여 증기 처리를 하지 않은 보드와 증기 처리를 1, 5, 10분 실시한 보드를 석탄산수지로 함침한 후 증기분사 시간의 영향을 조사하였다. 증기처리를 하지 않은 보드의 중층과 표층의 밀도 비가 가장 컸으며, 수지 함침율, 길이 및 두께 증가율은 밀도가 증가함에 따라 감소하였다. 또한 증기처리를 10분 실시한 보드의 수지 함침율, 길이 및 두께 증가율이 가장 컸다.

### ABSTRACT

The properties of new porous carbon materials "Woodceramics" are affected by the characteristics of raw boards. To investigate of density profile and resin contents in impregnated boards, control board and 3 types of steam-injected boards were made by steam injection time. The wood species used for manufacturing boards was Sugi(*Cryptomeria japonica*). The results are as follows:

\* 1 접수 2001년 3월 25일, 채택 2002년 6월 10일

이 논문은 2000년도 전북대학교의 지원 연구비에 의하여 연구되었음.

\* 2 전북대학교 농업과학기술연구소 Institute of Agriculture Science and Technology, Chonbuk National University.

† 주저자(corresponding author) : Seung-Won Oh (e-mail: ohsw@moak.chonbuk.ac.kr)

- 1) The density gradient of board after 10 minutes steam injection was the smallest and non-steamed board was largest.
- 2) The resin content and dimensional rise decreased with increase of board density, and were the largest in board after 10 minutes steam injection but there was little difference between boards after 5 and 10 minutes steam injection.

**Keywords:** woodceramics, density profile, resin content, steam injection

## 1. 서 론

세계의 목재자원은 과도한 벌채로 인해 점차 고갈되어 가고 있는 실정이다. 우리나라의 경우 산림자원의 자국산립자원 및 목재산업의 보호와 자국생산 목제품의 수출 전략화에 따른 원목 수출금지 및 제한 정책으로 1995년 기준 총 소요 목재에 대한 자급율은 4.3%이며 금액 기준으로는 2%에 불과하다(임업연구원, 1997). 따라서 간벌재, 폐재, 불량재 등 저급재이면서도 이용 가능한 목재의 활용방안에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다(박, 1997; 차, 1996).

특히 최근에 이러한 목재를 이용하여 목탄을 제조함으로써 목재자원을 재이용하기 위한 연구가 하나의 기술로 평가받고 있다(김 과 공, 1999). 그러나 이러한 목탄은 수종 특성, 온도 및 함수율 변이, 제조자의 기술 등에 따라 성질이 매우 다양한 변이성이 나타나며, 틀어짐과 균열 등의 이유 때문에 그 적용범위가 한정되고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 최근에 Okabe와 Saito(1995a)가 목재나 목질재료에 열경화성 수지를 함침한 후 진공상태에서 열성형시켜 새로운 다공질 탄소재료인 우드세라믹을 개발하였다. 우드세라믹은 가볍고 단단하며, 내부식성, 내구성, 전자파 차폐효과가 있으며, 목재의 독특한 다공질 구조를 유지하고 가격이 다른 C-C 화합물(carbon-carbon composite)보다 저렴하다. 그러므로 우드세라믹의 용도는 전자기 제품의 원료, 마찰재료, 자동차 부속재료 등 공업적으로 매우 다양하게 사용될 것으로 기대된다(Hokkirigawa 등, 1995, 1996a, 1996b; Kano 등, 1996; Kasai 등, 1996; Okabe & Saito 1995b; Okabe 등, 1995a, 1995b, 1996, 1996a, 1996b; Shibata 등, 1997). 이러한 우드세라믹의 제

조 과정 중 보드의 수지 함침율 및 밀도가 우드세라믹의 성질에 많은 영향을 미치므로(Oh 등, 1999) 가능한 밀도경사가 적은 보드를 이용하여 함침 처리를 하는 것이 우드세라믹의 성질을 균일하게 할 것으로 생각된다. 밀도경사를 감소시키기 위해서는 열판 하강속도를 느리게 한다든지, 새로운 증기분사식(steam injection)열압법을 사용하는 방법이 있으나, 열판 하강속도를 느리게 하면 접착제의 조기경화를 초래할 수 있기 때문에 증기에 의한 열압법이 연구되어 공업적으로 널리 이용되고 있다(小林 등, 1996). 따라서 본 연구에서는 우드세라믹의 성질에 영향을 미치는 수지 함침율과 밀도경사, 함침 보드의 치수 증가율을 조사하기 위하여 증기처리를 하지 않은 상태에서 제조한 보드와 1, 5, 10분간 증기처리를 한 상태에서 제조한 보드를 이용하여 석탄산수지를 함침한 다음 증기 처리 시간에 따른 각 보드의 특성을 검토하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

본 시험에서는 삼나무(*Cryptomeria japonica*) 간벌재를 공시재료로 사용하였다.

### 2.2. 보드제조

채취한 공시재료로 보드를 제조하기 위하여 실내에서 3개월 정도 음건시킨 후 chipper와 refiner(Toyo press Co., Ltd.)를 이용하여 입자크기 3 mm 이하로 분쇄하였으며 함수율은 약 13%로 조정하였다. 보드

제조시 접착제는 분말상 석탄산수지(BRP-5993, Showa Highpolymer Co., Ltd.)를 사용하여 중량 비 10:1로 혼합하였고, 증기처리를 실시하지 않은 보드와 증기처리를 실시한 보드의 밀도경사, 수지 함침율, 치수변화를 비교하기 위하여 1, 5, 10분간 증기처리를 하여 총 4가지 타입의 보드를 3반복씩 총 60개의 보드를 제조하였는데, 보드제조 공정은 Table 1과 같다. 보드 제조시 두께조절 봉(thickness bar)을 사용하였고 두께조절 봉까지 도달시간을 15초로 하였다.

### 2.3. 함침 및 측정

보드를 만든 후 26×26×1.2 cm 크기로 재단한 다음 항온 항습실에서 조습 처리한 후 밀도를 측정하여, 각 밀도별로 초음파 수지 함침장치(Okabe 등, 1995a, 1996a, 1996b)를 이용하여 액상 석탄산수지(PX-1600, Honen Corporation)로 1기압에서 2시간 동안 함침시켰다. 보드 제조에 사용한 분말상 석탄산수지와 함침에 사용한 액상 석탄산수지의 특성은 Table 2와 같다. 함침 후 보드를 꺼내어 송풍건조기에 넣고 60℃에서 8시간, 135℃에서 8시간 건조한 다음 항온 항습실에서 2주일 보관 후 수지 함침율과 치수 증가율을 저울과 버어니어 캘리퍼스를 이용하여 각 조건별로 4반복씩 측정하여 평균하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 밀도경사

4가지 조건으로 제조된 보드의 증기처리 시간에 따른 밀도경사는 Fig. 1과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 증기처리를 하지 않은 보드의 중층과 표층의 밀도 비는 1:1.41로 증기처리를 1, 5, 10분 실시한 보드의 밀도 비 1 : 1.11~1.18 보다 높게 나타났으며, 증기처리 시간별로는 증기처리를 5, 10분 실시한 보드의 밀도 비가 적었으나 증기처리 시간 5분과 10분간의 밀도경사에는 별 차이가 없었다. 이는 증기처리를 함으로써 증기가 열의 확산을 빠르게 하고 함수율을 높여 중층의 수분분포를 균일하게 하여 표층과 중층의 밀도 차이를 감소시켰기 때문인 것으로 사료된다. Oh 등(1999)은 일본 아오모리산 Hiba를 재료로 증기처리를 5분하여 제조된 보드와 증기처리를 하지 않은 보드의 표층과 중층의 밀도 비를 조사한 결과, 증기처리를 5분한 보드의 밀도 비가 적었으며, 이를 소성하여 우드세라믹을 제조한 후 휨강도를 측정한 결과 증기처리를 한 보드로 제조된 우드세라믹의 휨강도가 큰 것으로 보고한 바 있다. 일반적으로 보드의 밀도경사는 파티클의 모양, 수분 분포, 열판 하강속도, 열판 온도 등의 영향을 받으며 중층과 표층의 밀도 비가 1: 1.3~1.7 정도인 것으로 알려져 있으며(이 등, 1986:

**Table 1.** Manufacturing condition of board

Species	Board type	Density(g/cm <sup>3</sup> )	Hot pressing time	Hot pressing pressure	Steaming time
Samnamoo	Steamed board	0.5~0.9	15 min.	3 MPa	1, 5, 10 min.
	Non-steamed board	0.5~0.9	15 min.	3 MPa	0 min.

**Table 2.** Characteristics of phenol resin.

Powder resin(Novolak type)		Liquid resin(Resol type)	
Density(g/cm <sup>3</sup> )	0.26~0.34	Solid content(%)	46.0
Plate flow(mm)	30~40	Specific gravity	1.12
Melting point(°C)	74~84	Viscosity(poise/25°C)	0.16
Gelation time(sec.)	80~120	Gelation time(min./135°C)	11.0
Moisture content(%)	below 1	pH(25°C)	8.5
Amount of hexane(%)	5.9~6.9	Water tolerance	28

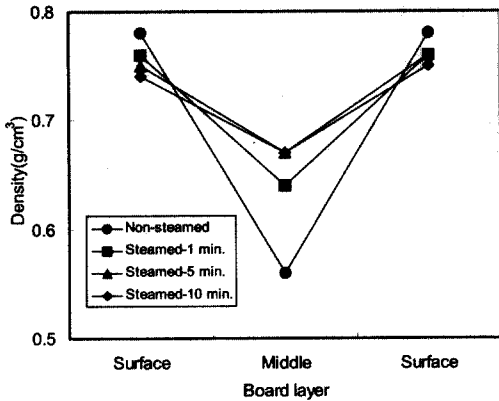


Fig. 1. Density variation of board by steaming time.

Lee & Maloney, 1995). 본 연구에서 5분 증기 처리하여 제조한 보드의 밀도 비는 이와 강(1998)이 보고한 요소수지에 의한 연질왕겨 보드의 중층과 표층의 밀도 비와도 비슷한 결과를 나타냈다. 오(2001)는 삼나무 보드로 제조된 우드세라믹의 기계적 성질 조사에서 증기처리를 실시하지 않은 보드로 제조된 우드세라믹의 휨강도 및 압축강도가 증기처리를 1, 5, 10분 실시한 보드로 제조된 우드세라믹 보다 컸다고 보고한 바 있다. 또한 오 등(2000)은 증기처리를 실시하지 않은 보드와 증기처리를 1, 5분 실시한 보드로 제조된 우드세라믹의 체적 고유저항을 조사에서 증기처리를 하지 않은 보드로 제조된 우드세라믹의 체적 고유저항율이 11.3~8.2 Ω.cm로 증기처리를 실시한 보드보다 컸으며, 이는 보드의 밀도경사에 의한 함침율 차이에 기인된 것으로 보고한 바 있다. 따라서 보드 제조시 증기분사 실시 여부는 보드의 성질뿐만 아니라 표층과 중층의 밀도 차이로 인하여 함침율 차이가 생겨 우드세라믹 성질에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

### 3.2. 수지 함침율

제조된 보드를 초음파 함침 장치에서 석탄산수지를 함침한 후 건조기에서 건조하고 항온항습실에서 2주간 보관한 후 수지 함침율을 측정하였다. 4가지 조건

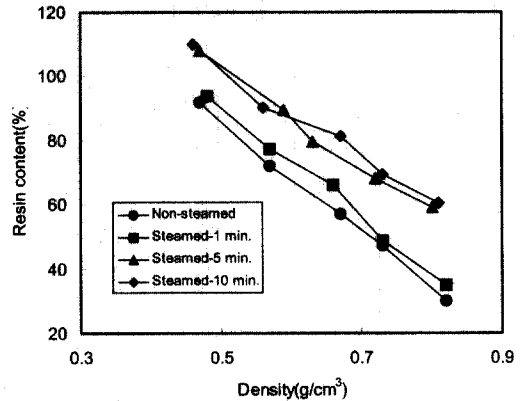


Fig. 2. Relationship between density and resin content of board after impregnation with phenol resin.

으로 제조된 보드의 증기처리 시간에 따른 수지 함침율은 Fig. 2와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 보드의 밀도가 증가함에 따라 수지 함침율은 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 밀도 0.47 g/cm³에서 증기처리를 10분 실시한 보드의 수지 함침율이 110%로 증기처리를 하지 않은 보드의 수지 함침율인 72%보다 높게 나타났으며, 밀도 0.82 g/cm³에서도 증기처리를 10분 실시한 보드의 수지 함침율이 60.4%로 증기처리를 하지 않은 보드의 수지 함침율인 30%보다 높게 나타났다. 이는 증기처리를 한 보드의 밀도경사가 적고 표층의 밀도가 낮기 때문에 보드의 중층과 표층에 수지가 균일하게 함침되었기 때문으로 사료된다. 수지 함침율과 밀도와의 관계에서 岡部(1996)는 너도밤나무의 밀도가 증가함에 따라 수지 함침율은 감소하는 부의 상관관계( $r = -0.911^{**}$ )가 있음을 밝힌바 있으며, Nonaka 등(1999)이 MDF로 실험한 결과 침엽수로 만든 MDF가 활엽수로 만든 MDF보다 수지 함침율이 높았으며, 밀도가 증가함에 따라 수지 함침율은 감소한다고 보고한 바 있다. Oh 등(2000)은 증기분사를 실시하지 않은 보드로 제조된 우드세라믹과 증기분사를 5분 실시한 보드로 제조된 우드세라믹의 압축강도를 측정된 결과, 증기분사를 실시한 보드로 제조된 우드세라믹의 경우 함침율이 50%에서 110%로 증가함에 따라 244.7 kgf/cm²에서 326.3 kgf/cm²로 증가하였으며, 증기분사를 실시하지 않은 보드로 제조된 우

드세라믹은 275.3 kgf/cm<sup>2</sup>에서 367.1 kgf/cm<sup>2</sup>로 증가한다고 보고한 바 있어 보드 제조시 증기분사 실시 여부 부가 보드의 표층과 중층의 밀도차이를 나타내 함침율에 영향을 주는 것으로 판단된다. 또한, Oh 등(1999)은 일본 아오모리산 Hiba로 제조된 보드의 수지 함침율과 휨강도와와의 관계에서 수지 함침율이 높을수록 우드세라믹의 휨강도는 증가한다고 보고한 바 있어 보드의 수지 함침율과 우드세라믹의 성질간에는 소성 과정에서 수지의 유리탄소화와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

### 3.3. 수지함침에 따른 치수증가율

수지 함침 후 건조한 보드의 길이와 두께를 측정하여 함침전의 치수와 비교하여 치수 증가율을 계산하였다. 4가지 조건으로 제조된 보드의 증기처리 시간에 따른 치수 증가율은 Fig. 3, 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 보드 함침 후 길이와 두께 증가율은 모두 보드의 밀도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 밀도가 증가함에 따라 공극이 적어 원활한 수지의 침투가 어려워졌기 때문인 것으로 사료되며, 밀도 0.47 g/cm<sup>3</sup>에서 증기처리를 10분 실시한 보드의 길이 및 두께 증가율은 각각 1.42%, 16.3%로 증기처리를 하지 않은 보드의 길이 및 두께 증가율 0.9%, 10.3% 보다 높게 나타났다. 또한 증기처리를 5, 10분 실시한 보드의 함침 후 길이와 두께 증가율이 증기처리를 하지 않은 보드보다 증가하였는데 이는 증기처리를 한 보드의 밀도경사가 적고 표층의 밀도가 낮아 중층과 표층에 균일하게 수지가 함침되었기 때문인 것으로 사료된다. 한편, 오(2001)는 증기분사를 하지 않은 보드와 증기분사를 실시한 보드로 제조된 우드세라믹의 성질에 관한 연구에서, 증기분사를 하지 않은 보드로 제조된 우드세라믹의 두께와 길이 감소율은 증기분사를 1, 5, 10분 실시한 보드로 제조된 우드세라믹보다 높았으나 증기분사 시간에는 큰 차이가 없었다고 보고한 바 있다. 또한, 기계적 성질은 증기분사를 하지 않은 보드로 제조된 우드세라믹이, 치수 안정성은 증기분사를 실시한 보드로 제조된 우드세라믹이 우수하였다고 보고한 바 있어 우드세라믹 제조

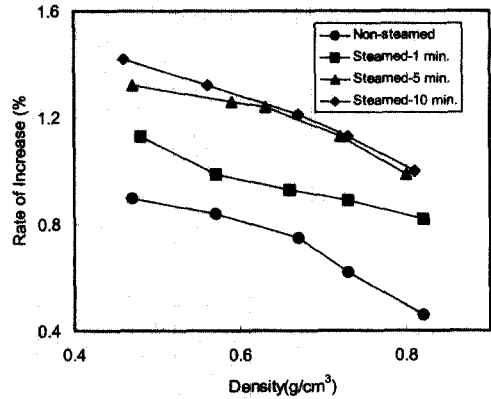


Fig. 3. Relationship between density and length increase of board after impregnation with phenol resin.

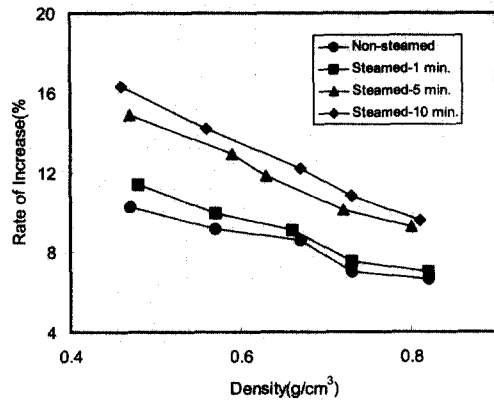


Fig. 4. Relationship between density and thickness increase of board after impregnation with phenol resin.

시 용도에 따라 증기분사 처리 여부를 고려해야 할 것으로 생각된다.

## 4. 결론

새로운 다공질 탄소재료인 우드세라믹의 성질에 영향을 미치는 보드의 수지 함침율과 밀도경사를 조사하기 위하여 증기처리를 하지 않은 보드와 증기로 처리한 보드를 제조하여 함침 후 밀도와 증기처리 시간

에 따른 각 보드의 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 증기처리 시간에 따른 보드의 밀도경사는 증기처리를 10분 실시한 보드의 표층과 중층간의 밀도비가 가장 적었고 증기처리를 하지 않은 보드의 밀도비가 가장 컸다.

2) 밀도에 따른 수지 함침율은 밀도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈으며, 증기처리를 10분 실시한 보드의 수지 함침율이 가장 컸다.

3) 밀도별 수지 함침에 따른 보드의 길이 및 두께 증가율은 밀도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 길이 및 두께 증가율 모두 증기처리를 10분 실시한 보드가 가장 컸다.

## 참 고 문 헌

- Hokkirigawa, K., T. Okabe and K. Saito. 1995. Development of porous carbon material "woodceramics" - Fundamental wear properties under unlubricated condition on air, under base-oil impregnated condition and in water - Journal of the Society of Materials Science Japan, 44(501): 800~804.
- Hokkirigawa, K., T. Okabe and K. Saito. 1996a. Wear properties of new porous carbon materials: woodceramics. Journal of Porous Materials, 2: 229~235.
- Hokkirigawa, K., T. Okabe and K. Saito. 1996b. Friction properties of new porous carbon materials : woodceramics. Journal of Porous Materials, 2: 237~243.
- Kano, M., M. Momota, T. Okabe, K. Saito and R. Yamamoto. 1996. Thermogravimetric and differential thermal analysis of woodceramics. Transactions of the Materials Research Society of Japan, 20: 40~43.
- Kasai, K., K. Shibata, K. Saito and T. Okabe. 1996. Humidity sensor characteristics of woodceramics. Transactions of the Materials Research Society of Japan 20: 92~95.
- Lee, H. H. and T. M. Maloney. 1995. The effect of final moisture content of mat on the physical and mechanical properties of UF-bond MDF. Mokchae Konghak 23(4): 85~90.
- Nonaka, K., M. Fushitani and T. Hirose. 1999. Effect of density and phenolic resin loading on the bending strength performance of woodceramics. Transactions of the Materials Research Society of Japan 24(3): 319~322.
- Oh, S. W., T. Hirose and T. Okabe. 1999. Examination of produce method of woodceramics made from thinned small logs. The Fourth International Conference on ECOMATERIALS. 671~674.
- Okabe, T. and K. Saito. 1995a. Development of woodceramics. Transactions of the Material Research Society of Japan 18: 681~684.
- Okabe, T. and K. Saito. 1995b. The examination of the manufacturing method of woodceramics(I) - Structural changes affected by burning temperature - International Ecomaterial Conference, Xian, China: 1~4.
- Okabe, T., K. Saito, H. Togawa and Y. Kumagai. 1995a. Electromagnetic shielding characteristic of porous carbon material "woodceramics". International Ecomaterial Conference, Xian, China: 9~12.
- Okabe, T., K. Saito, H. Togawa and Y. Kumagai. 1995b. Development of porous carbon material "woodceramics" - Electromagnetic shielding characteristics - Journal of the Society of Materials Science Japan 44(498): 288~291.
- Okabe, T., K. Saito and K. Hokkirigawa. 1996a. New porous carbon materials woodceramics : Development and fundamental properties. Journal of Porous Materials 2: 207~213.
- Okabe, T., K. Saito and K. Hokkirigawa. 1996b. The effect of burning temperature on the structural changes of woodceramics. Journal of Porous Materials 2: 215~221.
- Okabe, T., K. Saito, M. Fushitani and M. Otsuka. 1996. Mechanical properties of porous carbon material; Woodceramics. Journal of Porous Materials 2: 223~228.
- Shibata, K., T. Okabe, K. Saito, T. Okayama, M. Shimada, A. Yamamura and R. Yamamoto. 1997. Electromagnetic shielding properties of woodceramics made from wastepaper. Journal of

- Porous Materials 4: 269~275.
17. 岡部敏弘. 1996. 木質系多孔質炭素材料 ウッドセラミックス. 内田老鶴園.
  18. 小林 純外4人. 1996. 목질블록의 제조와品質에關する研究(第1報). 條件が木質ブロックの性能に及ぼす影響. 木材工業. 51(80): 352~357.
  19. 김병로, 공석우. 1997. 미이용 목질 폐잔재의 탄화이용 기술개발(1) -수종의 간벌재 탄화와 탄화물의 특성-. 목재공학 27(2): 70~77.
  20. 박희준. 1997. 목질 폐잔재를 재활용한 목질 보드블럭 제조 기술개발. 목재공학 25(3): 96~104.
  21. 오승원. 2001. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질 - 증기분사 및 그 시간의 영향-. 목재공학 29(2): 69~75.
  22. 오승원, T. Okabe and T. Hirose. 2000. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 전기적 성질. 한국 가구학회지 11(1): 31~36.
  23. 임업연구원. 1997. 한국의 목재수급실태. 임업연구원 연구자료. 133.
  24. 이필우 외 9인. 1986. 목재공학. 향문사.
  25. 이화형, 강춘원. 1998. 요소수지 연결왕겨 보드의 개발. 목재공학 26(4): 50~55.
  26. 차재경. 1996. 국산 소경재를 이용한 집성재 개발을 위한 용력파 연구(1) -Glulam 부재의 용력파에 의한 합수율 영향-. 목재공학 24(3): 90~100.